

جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة السادسة من السنة التاسعة عشر

١٤٣

محاضرة عن

كوبرى البلت الصغير بالدانمارك

للأستاذ سليم عمود

مدير أعمال بمصلحة الطرق والكبارى

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية
بتاريخ ٢٠ مارس سنة ١٩٣٩

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر



جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة السادسة من السنة التاسعة عشر

١٤٣

محاضرة عن

كوبرى البلت الصغير بالدانمارك

للاستاذ سليم عوده

مدير أعمال بمصلحة الطرق والكبارى

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٢٠ مارس سنة ١٩٣٩

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر

الجمعية ليست مسئولة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء .

تنشر الجمعية على أعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب أن يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الأسود (شينى) و يرسل برسمها .

كوبرى البلت الصغير بالدانمارك

مقـــــدمة

تقع جزيرة فيونى (Fünen) الدانماركية على مقربة من شاطىء جوتلاند (Jütland) إذ لا يفصلهما إلا بوغاز أقل عرض فيه لا يزيد عن ٦٨٠ مترا . وكان المرور بين هذه الجزيرة والقارة يعمل بواسطة معدية بخارية منذ سنة ١٨٧٢ إلا أن ازدياد حركة المرور جعلت الحكومة الدانماركية تفكر فى إنشاء كوبرى على البلت الصغير (Little Belt) وهو البحر الفاصل بين الجزيرة والشاطىء . وعمل فعلا أول مشروع لهذا الكوبرى فى سنة ١٨٨٤ إلا أنه لم ينفذ فى ذلك الحين وبعد إدخال تعديلات متعددة عليه تقرر إنشاؤه نهائيا فى سنة ١٩٢٧ بشكل كوبرى مزدوج لمرور الطريق والسكة الحديدية .

وما إنشاء هذا الكوبرى إلا أول خطوة من برنامج شامل أعدته الحكومة الدانماركية لتصل جزرها ببعضها وبشاطىء جوتلاند أى بالقارة الأوربية نفسها . وكانت المواصلات قبل ذلك لا تتم إلا بالمعديات التى تفقد فائدتها فى جزء كبير من السنة بسبب الضباب والثلوج فى تلك الأصقاع الشمالية

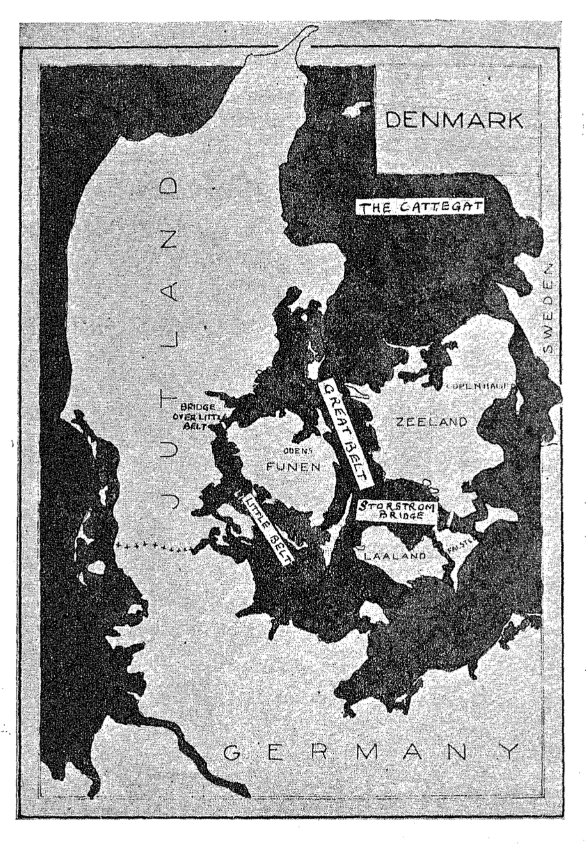
والخطوة الثانية فى هذا البرنامج هى التى تمت بانشاء كوبرى شتورشتروم (Störstrom) بين جزيرة زيلاند التى بها كوبنهاجن العاصمة وجزيرة فالستر . ويفكر ولاة الأمر من الآن بوصل جزيرة زيلاند هذه بجزيرة فيونى المذكورة سابقا (الشكل نمرة ١) .

وتنفيذ هذا البرنامج سيسهل أيضا المواصلات بين فرنسا و بلجيكا وألمانيا من جهة والبلاد الاسكانديناڤية وخصوصاً نروج وأسوج من جهة أخرى إذ يقلل المسافة التى يجب قطعها بواسطة المعديات التى تسبب إضاعة للوقت والمضايقة فضلا عن أنها عرضة للاخطار أيضا .

إنى إذا ذكرت هذه التفاصيل التى تكاد تخرج عن موضوع المحاضرة فلأبين ما للمواصلات من أهمية كبرى لدى جميع الحكومات التى لاتتأخر فى صرف المبالغ الطائلة عليها لأنها شرط من شروط التقدم بجميع أنواعه حتى أصبحت ميزة من مميزات حضارة عصرنا هذا .

أما كوبرى البلت الصغير موضوع كلمتنا فلا يمتاز فقط بضخامته بل يمتاز أيضاً بالطريقة المبتكرة التى استعملت فى تصميم أساساته ويمتاز كذلك بصعوبة تركيب الجزء العلوى منه والحل الموفق الذى توصلوا إليه.

فبعد وصف موجز لهذا الكوبرى سأحصر كلامى فى هاتين


DENMARK
THE CATTEGAT
SWEDEN
JUTLAND
BRIDGE
OVER LITTL
BELT
GREAT BELT
ZEELAND
ODENS
FUNEN
LITTLE BELT
STORSTROM
BRIDGE
LAALAND
GERMANY

(شكل ١)

النقطتين قبل أن يعرض على حضراتكم الفيلم السينمائى الذى يبين مختلف أطوار العمل .

وقد قامت بتحضير هذا الفيلم شركة كروب التى عهد إليها بتوريد الجزء الأكبر من الأعمال الحديدية فى الكوبرى وكذلك فى تحضير رسومات التنفيذ وبرنامج العمل .

وصف الكوبرى

لم يعمل الكوبرى فى أضيق نقطة من البوغاز إذ تبين أن الموقع غير ملائم فاضطروا إلى اختيار نقطة أخرى يبلغ عرض البحر فيها ٨٢٠ مترا وعمقه فى منتصف المسافة بين الشاطئين ٤٠ مترا .

توجد فى هذه المنطقة تيارات متغيرة الاتجاه تصل سرعتها إلى ثلاثة أمتار وربع فى الثانية ، ويتغير كذلك منسوب المياه بمقدار ثلاثة أمتار بسبب مفعول المد والجزر والأهواء والتيارات الشديدة المذكورة .

لهذا تتطلب الملاحة الشراعية فى تلك المنطقة وجود فتحة فى الكوبرى لا يقل عرضها عن ٢٠٠ متر وتعلو بمقدار ٣٠ مترا على الأقل فوق منسوب المياه العالية .

هذه هى الظروف التى حددت أبعاد الكوبرى ومناسيبه .

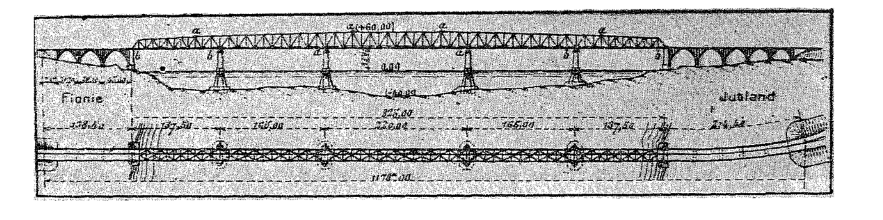
يتكون الكوبرى من جزء معدنى يمتد فوق البحر . به فتحة وسطى طولها ٢٢٠ متراً ، تليها من الجانبين فتحتان طول كل منهما ٢٦٥ متراً ، وينتهى عند الشاطئين بفتحتين بطول ١٣٧٫٥٠ مترا . فيكون طول فتحاته الخمس ٨٢٥ مترا .

ويكمل الجزء المعدنى إلى جانبيه بفتحات من الخرسانة المسلحة (Approach Spans) عددها ثلاثة بطول ٣٢ ، ٣٨ ، ٤٠ متراً تقريباً من جهة جزيرة فيونى ، وخمس فتحات أولها بطول ٣٢٫٤٠ متراً من جهة اليابسه وآخرها بطول ٤١٫٠ مترا عند البحر من جهة جوتلاند (شكل ٢) .

ويصبح باضافتها الطول الكلى لكوبرى البلت الصغير ١١٧٨ متراً .

تتكون كل من فتحات التوصيل هذه من أربعة عقود من الخرسانة المسلحة مثبتة الأطراف (Fixed arches) فوقها حوائط عرضية تحمل الطريق العلوى .

أما الكوبرى المعدنى فهو (through bridge) له كمرتان رئيسيتان شبكيتان المسافة بين محوريهما ١٦٫٥٠ مترا بينهما خطان للسكة الحديدية وطريق لمرور السيارات بعرض ٥٫٦٠ مترا محمل على طابق من الخرسانة



(شکل ۲۸)

المسلحة . وعلاة على ذلك فالكوبرى رصيف خارجى واحد للمشاة بعرض ١٫٨٠ متراً بطابق خرسانى محمل على كوابيل معدنية (شكل ٣) .

الكمرات الرئيسية من النوع ذى الكوابيل (cantilever bridge) ففى الفتحة الوسطى من الكوبرى وطولها ٢٢٠ متراً جزء معلق بطول ١٣٧٫٥٠ متراً يرتكز على الأجزاء الباقية بواسطة مفصلتين إحداهما ثابتة والأخرى متحركة . وكذلك فى كل من الفتحات التى بقرب الشاطىء وطولها ١٣٧٫٥٠ مترا جزء منفصل بطول ٩٩٫٠٠ متراً يرتكز من جهة على كتف الكوبرى بواسطة كرسى متحرك ومعلقاً من الجهة الأخرى بواسطة مفصلة ثابتة على الجزء الباقى من الفتحة . وترتكز الأجزاء الثابتة من الكوبرى على البغال بواسطة كراسى من الصاب المصبوب .

الكمرة الشبكية عبارة عن مثلثات متساوية الأضلاع تقريباً تقطعها قوائم رأسية ويبلغ ارتفاعها ٢٤٫٠٠ مترا فى الفتحة الوسطى ثم ينقص هذا الارتفاع تدريجياً إلى أن يصل إلى ١٥٫٤٤ متراً فوق الأكتاف .

وبالكوبرى شكالات أفقية لمقاومة ضغط الهواء عند حبلى الكمرات الأعلى والأسفل (upper and lower chords) ، وقد عملت المفصلات المذكورة آنفا بشكل يكاد يكون غير ظاهر للعين فيبدو الكوبرى كأنه بكمرات طوليه مستمرة .

يرتكز الجزء المعدنى على الكتفين فى نهايات الأجزاء الخرسانية عند كل شاطىء وعلى أربع بغال مؤسسة فى قاع البحر على أعماق تتراوح بين ٠٠ر٢٤ متراً ، ٠٠ر٣٧ متراً تحت سطح الماء وترتفع بمقدار ٠٠ر٣١ متراً فوق سطح الماء فيكون ارتفاع البغال الكبرى ٠٠ر٦٨ مترا . فاذا أضفنا إليه ارتفاع الكراسى والجزء العلوى وهو ٢٧ مترا أصبح ارتفاع الانشاء الكلى ٠٠ر٩٥ مترا أى مايقرب من ثلثى ارتفاع الهرم الأكبر .

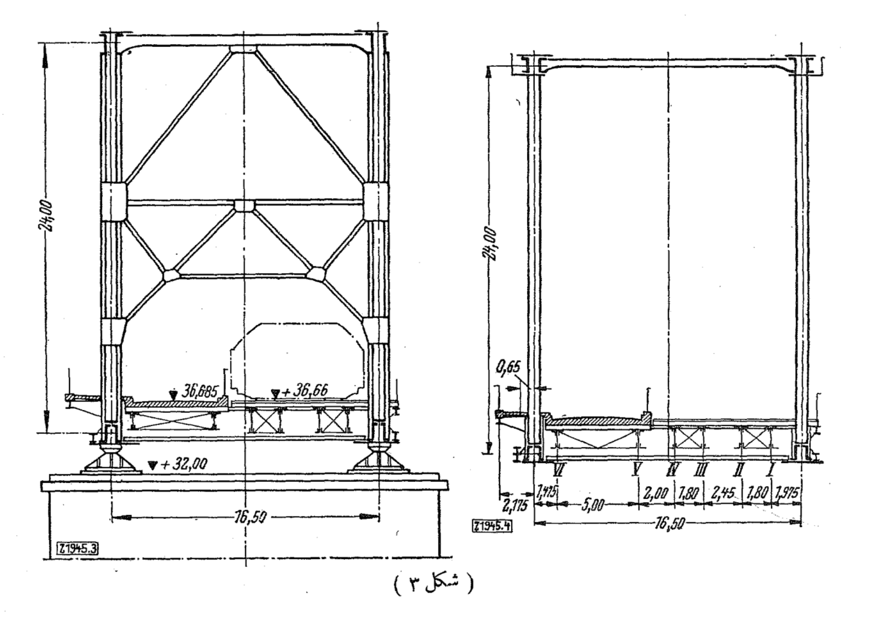
التصميم والتنفيذ

قام بتحضير مشروع الكوبرى مهندسو سكك حديد الحكومة الدانماركية ولم يراعوا فى تحضيره الاعتبارات الفنية فقط بل وجهوا عنايتهم أيضاً إلى جمال المنظر لما لهذا الكوبرى من الأهمية (شكل ٤) .

وقد عمل تصميم الكوبرى بفرض الأحمال الآتية : —

أولا — فرض لكل من خطى السكة الحديدية قطار عادى تجره قاطرتان ديزل تزن كل منهما ١٢٠ طنا .

ثانياً — فرض على طريق السيارات هراس وزنه ٢٠ طناً يجر عربة بنفس الوزن . أما فى حساب الكمرات الرئيسية فقد استبدلت الأحمال المتحركة على الطريق بحمل موزع توزيعاً منتظماً قدره ٥٠٠ كيلو جراماً


24,00
36,685
+ 36,66
+ 32,00
16,50
Z1945.3
24,00
0,65
VI
V
IV
III
II
I
2,175
1,415
5,00
2,00
1,80
2,45
1,80
1,975
16,50
Z1945.4

(شکل ۳)

(شكل ٤)



على المتر المسطح من الطريق والرصيف الجانبي .

ثالثاً — تقدر لضغط الهواء ١٥٠ كيلو جراماً على المتر المسطح فى حالة وجود الأحمال المذكورة آنفا على الكوبرى و ٢٥٠ كيلو جراما على المتر المسطح بفرض خلو الكوبرى من الأحمال .

أما أساسات الكوبرى فقد تحضر مشروعها الأصلى بفرض استعمال الهواء المضغوط على أن المصلحة تركت للمقاولين الحرية فى عرض أى طريقة أخرى يرونها . وصار فعلا تنفيذ هذه الأساسات بطريقة مبتكرة سنشرحها فيما بعد .

وطرحت مصلحة سكك حديد الحكومة الدانماركية إنشاء هذا الكوبرى فى مناقصة عالمية صار فتح مظاريفها فى ٢٨ أكتوبر سنة ١٩٢٨ .

وكانت نتيجة المناقصة أن عهدت المصلحة بتنفيذ الأعمال إلى مجموعة مكونه فى أربع شركات وهى : —

جرين وبلفنجر (Grun & Bilfinger) من مانهايم بألمانيا ومونبرج وتورسن (Monberg &Thorsen) من كوبنهاجن لأعمال الأساسات والمبانى ثم فريد كروب (Fried Krupp) من راينهاوزن ولويس ايلرز (Louis Eilers) من هانوفر لأعمال الحديد . وهما شركتان ألمانيتان مشهورتان .

وكانت قد نصت الشروط على امكان استعمال أربعة أنواع من الصلب وهى الصلب الانجليزى (st. 44) والصلب الألمانى (st. 48) ومقاومة الشد فيهما ٤٤ر٤٨ كيلو جراماً على المليمتر المربع . وصلب السيليكا الألمانى ومقاومته ٤٨ كيلو جراماً أيضاً على المليمتر المربع وصلب السيليكا الأمريكى وتبلغ مقاومته ٥٦ كيلو جراماً على المليمتر المربع .

قدم المقاول الذى رسا عليه العطاء أثماناً للثلاثة أنواع الأخيرة من الصلب إلا أنه قدم أيضاً عطاء بفرض استعمال صلب ألمانى عالى الشد (high tensile steel) من صنع كروب (Krupp Baustahl) أمكنه به أن يخفض وزن حديد الكوبرى إلى أدنى حد ممكن وأقل مقاومة للشد فى هذا الصلب هى ٥٤ كيلوجراما على المليمتر المربع وحد المرونة فيه ٣٦ كيلو جراماً على المليمتر المربع أما الجهود التى اعتمدت فى تصميم الكوبرى فهى ١٩ كيلو جراماً على المليمتر المربع للحمل الميت والحى مع الجهود الديناميكية (impact) و ٥ر٣٢ كيلوجراما لنفس الجهود مضاف اليها تأثير ضغط الهواء والفرامل واعتمد هذا الحد أيضا للجهود الناشئة أثناء التركيب من الأحمال الميتة والمتحركة ورفع إلى ٥ر٢٤ كيلو جراما على المليمتر المربع إذا أضيف ضغط الهواء عليها .

ووافقت مصلحة السكك الحديدية على توريد جميع أجزاء الكوبرى

المعدنى من هذا الصلب . وقد كلفت شركة فريد كروب بعمل جميع الحسابات والرسومات التفصيلية الخاصة بالتنفيذ وكانت هى المسئولة عن تركيب الجزء المعدنى فى الكوبرى .

قد عهدت المصلحة إلى المقاول بتنفيذ العمل فى آخر ديسمبر سنة ١٩٢٨ إلا أنه لم يبدأ به فعلا إلا فى مايو سنة ١٩٣٠ لحصول إضراب بين العمال فى الدانمارك استمر حوالى السنة . وقد تم عمل جميع المبانى فى مارس سنة ١٩٣٤ .

أما الجزء العلوى المعدنى فقد بدىء فى تركيبه فى يناير سنة ١٩٣٣ أى بعد أن تم بناء البغلة الأولى وانتهى تركيبه فى آخر ديسمبر سنة ١٩٣٤ فاستغرقت عملية التركيب حوالى سنتين وصار الاحتفال بفتح الكوبرى للمرور فى ١٤ مايو سنة ١٩٣٥ .

اختيار طريقة الاساسات

لم يلاق المقاول فى عمل أساسات الأكتاف وبغال الكبارى الخرسانية أى صعوبة خاصة فقد عملت أساسات الكتف ناحية جوتلاند بخوازيق خرسانية مسلحة بطول ١٤ مترا . وعملت الأساسات الأخرى من خرسانة عادية محاطة بخوازيق لوحية حديدية . أما فى تأسيس البغال

فى قاع البحر فكان على المقاول أن يتغلب على صعوبات كبيرة بسبب عمق المياه والتيارات الشديدة . فان عمق البحر عند البغلة الأولى من جهة الجزيرة (البغلة رقم ١) يبلغ ٣١ مترا تقريباً وقد انزلت أساسات هذه البغلة إلى عمق ٣٧٫٤٠ مترا تحت سطح الماء .

كان المتبع إلى هذه السنين الأخيرة وخصوصاً قبل الحرب العالمية أن تستعمل طريقة الهواء المضغوط فى مثل هذه الحالة لضمان تنفيذ العمل بأقل ما يمكن فى المفاجآت وفى الواقع فان استعمال الهواء المضغوط هو أحسن طريقة فى كثير من الحالات التى يقابلها المهندس . إلا أنه بسبب ارتفاع ثمن الحديد وأجور العمل قد أخذ المهندسون يفكرون فى طرق أخرى قد تكون أوفق من طريقة الهواء المضغوط فى حالات خاصة . كأن تكون طبقات الأرض رملية ناعمة أو بالعكس طينية كثيفة . وسنرى أن جهود المهندسين فى هذا الاتجاه الجديد قد كللت بنجاح كبير.

فنذكر مثلا للحالة الأولى أى وجود رمل ناعم فى القاع . أنه فى انشاء رصيف داخل البحر فى فردون وهو الميناء الخارجية لبوردو فى فرنسا كان على المقاول أن يخترق بأساساته طبقة سميكة من الرمل الناعم فوفق إلى طريقة لتغويص القواسين بواسطة طلمبات تشتغل تحت الماء بالهواء المضغوط (emulseur à air) توصل بها إلى التغويص بسرعة فائقة علاوة

على الوفر الكبير فقد بلغت سرعة التغويص من متر إلى متر وربع فى الساعة الواحدة لقاسون قطره ٧٫٥٠ مترا بينما بطريقة الهواء المضغوط العادية يستغرق هذا النزول يوماً كاملا . وقد أمكنه بفضل هذه السرعة أن يتحاشى الحوادث التى يكثر حصولها فى منطقة قد اشتهرت بشدة الأنواء فيها وهى منطقة خليج بسكاى المعروفة جيدا .

أما فى موقع كوبرى البلت الصغير فقاع البحر على عكس الحالة السابقة مكّون من طينة صماء يزيد عمقها على ١٠٠ متر . ولم يكن استعمال طريقة الهواء المضغوط فى هذه الحالة أيضا هو الحل الموفق .

فان استعماله فى الأعماق الكبيرة التى ذكرناها لم يكن يخلو من الخطر على صحة العمال علاوة على تكاليفه الكبيرة بسبب الضغط العالى وقلة إنتاج العامل . واذكر بهذه المناسبة أن ضغط الهواء فى قواسين كوبرى امبابه على النيل قد وصل إلى ٣٫٨ ضغوط جوية فكان العامل يدخل القاسون بضغط الهواء عليه تدريجيا لمدة ربع ساعة . فيشتغل داخل القاسون ساعتين فقط ثم يمكث فى هويس الهواء عند الخروج ساعة ونصف تقريباً فكأن العمل يقف نصف الوقت ويتقاضى العامل أجرته كاملة لشغلة ساعتين فقط .

ففى كوبرى البلت الصغير أراد المقاول أن يستفيد من خاصية

الأرض التى لاتتخللها المياه فينفذ أساساته فى الهواء الطلق . وقد توصل فعلا إلى طريقة تمكنه من تغويص القواسين بدون أن يلجأ إلى استعمال الهواء المضغوط . فقد اقترح تحضير قاسون ارتفاع غرفة العمل فيه سبعة أمتار وحوائطها عبارة عن مواسير رأسية متلاصقة قطرها حوالى المتر وهى مفتوحة من أعلى ومن أسفل . فبالحفر فى داخل هذه المواسير بعد تطويلها بمواسير إضافية ترتفع أطرافها فوق سطح الماء يمكن تغويص القاسون فى الأرض إلى عمق سبعة أمتار أى إلى أن يرتكز سطح غرفة العمل على قاع البحر . وعند ذلك يمكن ملء مواسير القاسون بالخرسانة المصبوبة تحت الماء ثم فتح سطح غرفة العمل وتكملة الأساس على الناشف فى الهواء العادى .

وقبل تنفيذ هذه الطريقة قد تأكدوا من كثافة الطينة بتجارب أجرتها لجنة فحص العطاءات فى المعمل أولا ثم بقيام المقاول نفسه بدق ماسورة اختبار بقطر مواسير القاسون إلى عمق ٢٠ مترا تحت سطح الماء علاوة على حفر الأرض إلى عمق متر آخر تحت أسفل الماسورة . فبعد ستة أسابيع كانت الماسورة لاتزال ناشفة تماماً ولم تحصل أى حركة فى جوانب الحفر فى أسفلها . مما يدل على أن الطينة صماء تماماً .

إنشاء القواسين

قد عمل أسفل القاسون بشكل مستطيل ينتهى بنصفى دائرة طوله الكلى ٤٥ مترا وعرضه ٢٤ مترا فيكون مسطح قاعدته ٩٤٠ مترا تقريبا وارتفاع هذا الجزء من القاسون نحو ١٨مترا . وارتفاعه النهائى بعد تكملة بنائه فى الماء ٣٦ مترا .

تتكون حائط القاسون الخارجية من ٧٦ ماسورة من الخرسانة المسلحة قطرها الداخلى ١٨ر١ متر وسمك جوانبها ١٥سم مغلفة من الداخل بمواسير من الصاج سمك ٦ م م . وارتفاع هذه الحائط تحت سقف غرفة العمل من سبعة إلى ثمانية أمتار . وقد اضطروا بسبب هذا الارتفاع الكبير إلى تقوية الحائط باضافة ٢٢ ماسورة موزعةوراءالصف الخارجى(شكل ٥) وهذه المواسير أيضاًمفتوحة من أعلا ليمكن الحفر فى داخلها . وقد عملت الحائط بارتفاعات مختلفة طبقاً لمناسيب قاع البحر فى موقع القاسون ليرتكز القاسون عمودياً على الأرض بجميع مواسيره قبل البدء فى عملية التغويص. وقد قام المقاول لهذا الغرض بجس أعماق البحر فى المواقع المذكورة بدقة كبيرة .

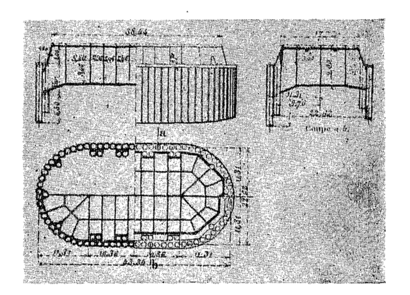
أما سطح غرفة العمل فهو عبارة عن طابقين من الخرسانة المسلحة

تصلهما ببعضهما حوائط رأسية فى اتجاهات متعددة . وقد عمل الطابق الأسفل بشكل يشابه إلى حد ماشكل قاع البحر .

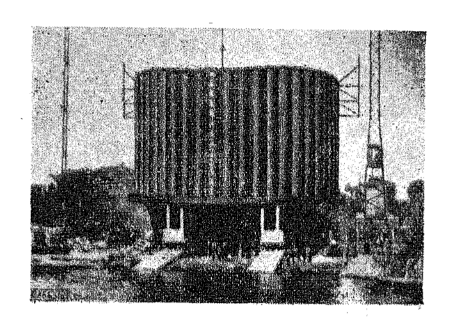
صار بناء القواسين على شاطىء جوتلاند فوق خوازيق خشبية تعلوها سلندرات ذات بساتن ولكنها ليست بخارية بل مملوءة بالرمل لامكان تنزيل القاسون بعد اتمامه بتفريغ الرمل من السلندرات بالتدريج افيرتكز على قضيبين من الخشب المشحم ينزلق عليهما إلى البحر كما تنزل لمراكب بعدبناءها . وكانت قضبان الانزلاق هذه معمولة بميل ١ إلى ١٤ ومرتكزة على خوازيق خشبية أيضاً .

ونظراً لأن مواسير حائط القاسون مختلفة الأطوال حتى تأخذ شكل قاع البحر فكان من المستحيل انزلاق القاسون على القضبان المذكورة . وللتخلص من هذه الصعوبة صار بناء القاسون فوق السلندرات مقلوبا أى أنه كان مرتكزاً على سقف غرفة العمل العلوى . وعدم على هذا الشكل ثم أجرى قلبه فى الماء كما سنشرحه فيما يلى . وكان هذا العمل جريئاً ودقيقاً (شكل ٦) .

قد استعملوا فى بناء القواسين ونشا يدور على برج عال وصار صب الخرسانة فى القاسون وفى الكوبرى الكائن على الشاطىء أيضا بواسطة جهاز التوزيع ذى الصارى العالى المعروف . وكان ارتفاعه ٦٥ مترا . فيرفع



(شكل ٥)



(شكل ٦)

هذا الجهاز الخرسانة الطرية إلى علو كاف ثم يرسلها إلى نقطة صبها فى مجار مائلة محملة على أسلاك هوائية مربوطة بالصارى المذكور (شكل ٧) .

أما طريقة تنزيل القواسين إلى البحر فانى مضطر أن أمر بتفاصيلها لضيق الوقت ولأنها لا تختلف عما يجرى عند إنزال المراكب إلى الماء كما أسلفنا .

تكملة القواسين فى البحر

بعد تنزيل كل قاسون إلى الماء يصير قلبه رأساً على عقب وتتم هذه العملية على عدة خطوات (شكل ٨) . فاولا تملأ المواسير التى فى جانب القاسون بمقدار ٤٣٥ م^{٣} من الزلط ويكون قد سبق قفل أسفل كل منها بغطاء مؤقت من الخشب فيميل القاسون إلى الجنب بمقدار ٢٥ درجة . ثم تملأ الفراغات الكائنة بين سقفى غرفة العمل فى هذا الجانب أيضا بستمائة م^{٣} من الماء فيزيد ميل القاسون إلى ٣٠,٥ درجة تقريبا . وبعد ذلك يدخل الماء إلى غرفة العمل المقلوبة بفتح ماسورة أعدت خصيصاً لذلك فيجتمع الماء فى الزاوية السفلى ويزداد ميل القاسون تدريجيا إلى أن يبلغ ٤٢ درجة بعد دخول ١٠٩٠ مترا مكعبا فى الماء . وعند ذلك تكون قد وصلت شفة القاسون العليا إلى سطح البحر فيتدفق الماء فيه وتزداد سرعة الانقلاب .

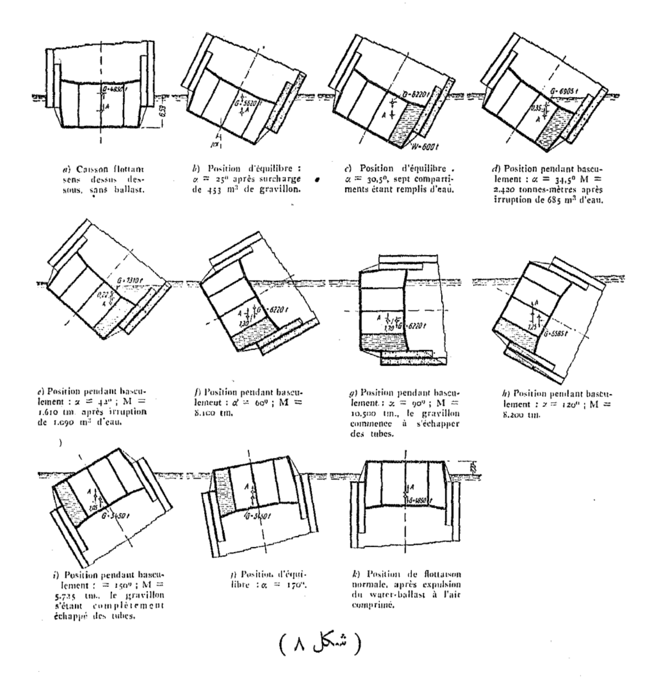
وعند ما تصبح المواسير أفقية يأخذ الزلط ينصب منها ويسقط فى البحر فيتمكن القاسون بذلك من اتمام دورته ثم يستقر وقد ظهر سطح غرفة العمل فوق الماء . إلا أنه لا يزال مائلا بمقدار ١٠ درجات بسبب الماء الكائن بين سقفى غرفة العمل فيدفعون هذا الماء إلى الخارج بتسليط هواء مضغوط عليه فيستوى القاسون فى وضعه الأفقى وسطحه مرتفع عن سطح الماء بمقدار ٢٫٧٠ متراً تقريبا .

قبل تنفيذ هذه العملية فى قواسين يزن بعضها ٦٥٠٠ طن رأوا درس تفاصيلها على نموذج مصغر للقاسون بمقياس ١/٢٠ للتأكد من إمكان تنفيذها من الوجهة العملية .

رأينا أن ارتفاع القاسون حوالى ١٨٫٠٠ مترا فيجب إذاً تكملة بنائه وعمل جزء من البغلة فوقه متى إذا ما أنزل إلى الأرض ظل أعلاه مرتفعا فوق منسوب الماء بمقدار كاف . ولما كان من الصعب أن لم نقل من المستحيل إجراء البناء فوق القاسون وهو عائم لشدة التيارات ومفعول الأمواج ، اضطر المقاول إلى تنفيذ هذه العملية على دفعات متوالية .

أخذ المقاول القاسون إلى نقطة ذات عمق كاف بقرب الشاطىء وأنزله على القاع بملء فراغاته بكمية من الماء ثم بدأ بعملية البناء مستعيناً بجهاز عائم لتحضير الخرسانة وصبها . ولما بلغ ارتفاع القاسون مقداراً مناسباً

(شكل ٧)



a) Caisson flottant sens dessus dessous, sans ballast.

b) Position d'équilibre : $\alpha = 25°$ après surcharge de 453 m³ de gravillon.

c) Position d'équilibre . $\alpha = 30{,}5°$, sept compartiments étant remplis d'eau.

d) Position pendant basculement : $\alpha = 34{,}5°$ M = 2.420 tonnes-mètres après irruption de 685 m³ d'eau.

e) Position pendant basculement : $\alpha = 42°$; M = 1.610 tm. après irruption de 1.090 m³ d'eau.

f) Position pendant basculement : $\alpha = 60°$; M = 8.100 tm.

g) Position pendant basculement : $\alpha = 90°$; M = 10.500 tm., le gravillon commence à s'échapper des tubes.

h) Position pendant basculement : $\alpha = 120°$; M = 8.200 tm.

i) Position pendant basculement : = 150° ; M = 5.735 tm., le gravillon s'étant complètement échappé des tubes.

j) Position d'équilibre : $\alpha = 170°$.

k) Position de flottaison normale, après expulsion du water-ballast à l'air comprimé.

(شكل ٨)

نزح الماء من داخله.فعام ثانيه . فجره إلى نقطة أخرى أكبر عمقاً وأنزله كالمرة الأولى مستأنفاً عملية البناء . واضطر إلى تكرار هذه العملية من مرتين إلى ثلاثة مرات حسب الارتفاع المطلوب (شكل ٩) .

التغويص و بناء البغلة فى الموقع النهائى

نقل المقاول القاسون بعد هذا وأنزله فى موقعه النهائى مستعيناً فى ضبطه بحبال مربوط بعضها بكتل خرسانية ثقيلة وبعضها مثبت بالشاطىء .

ثم ركب المقاول فوق القاسون اثنين من الاوناش ذات البرج العالى ووضع بهما المواسير الحديدية التى تمد مواسير القاسون إلى ما فوق سطح الماء . وأجرى الغطاسون وصل المواسير هذه بالمواسير السفلى ، وتثبيتها بعوارض خشبية على جوانب القاسون . و بدأ تغويص القاسون بالحفر من داخل المواسير (شكل ١٠) .

أما جهاز الحفر (شكل ١١) فهو عبارة عن اسطوانة من الصلب قطرها ٩٥ سم بأسفلها دائرة مسننة ومتصلة بقضيب رأسى لتحريكها . ويوجد فى داخل الاسطوانة سكينتين قطريتين مسننتين كما توجد خارجها أربع سكاكين متحركة لتوسيع الحفر حتى يصل إلى قطر الماسورة الخرسانية وقد ربطت بقضيب التحريك ماسورتان للماء تنتهى فى

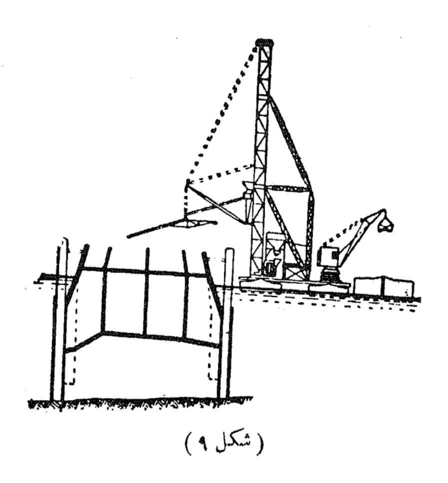
منسوب السكاكين بداخل اسطوانة الحفر وماسورة للهواء المضغوط تنتهى بقمع فى أعلى الاسطوانة من الداخل أيضا .

ويدار القضيب فتقطع السكاكين الطينة ويفتتها الماء ويدفعها الهواء المضغوط إلى الخارج . وبهذا يغوص القاسون فى الأرض تدريجياً إلى أن يرتكز سطح غرفة العمل على قاع البحر .

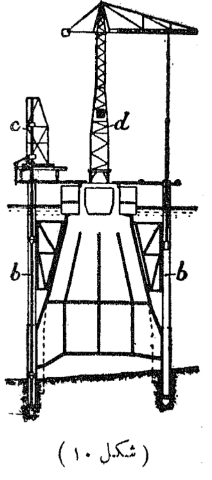
صار العمل فى البدء بسهولة ثم اعترضت الحفــــر أحجار ذات أحجام مختلفة لم يكن وجودها منتظراً إذ أكد الجيولوجيون أن قاع البحر مكون من طينة صرفه ، فاضطر المقاول إلى إخراج هذه الأحجار بواسطة الغطاسين حيناً وبواسطة كماشات ميكانيكية فى بعض الأحايين ، وكان هذا العمل شاقاً وبطيئا بسبب ضيق المواسير وعمق الماء .

وعندما ارتكز سقف غرفة العمل على سطح الأرض أوقف التغويص طبعاً وصار ملء مواسير القاسون بالخرسانة ثم أجرى الحفر داخل غرفة العمل وملئت بالخرسانة أيضاً (شكل ١٢) .

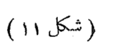
بعد ذلك وضعت الخرسانة فى بعض الفراغات العليا وترك بعضها مملوءا بالماء ، ثم تم بناء الجزء الأعلى من البغلة (شكل ١٣) وقد أجريت العملية بواسطة الجهاز العائم لصب الخرسانة إلى الارتفاع الممكن ، وتم

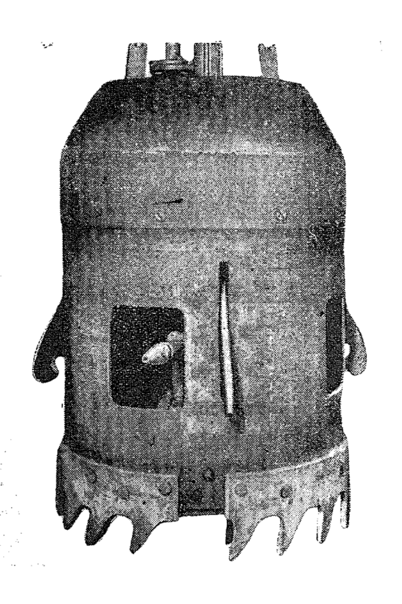


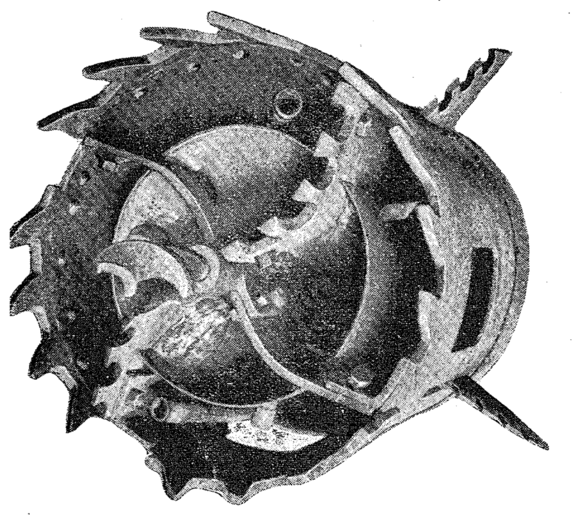
(شکل ۹)

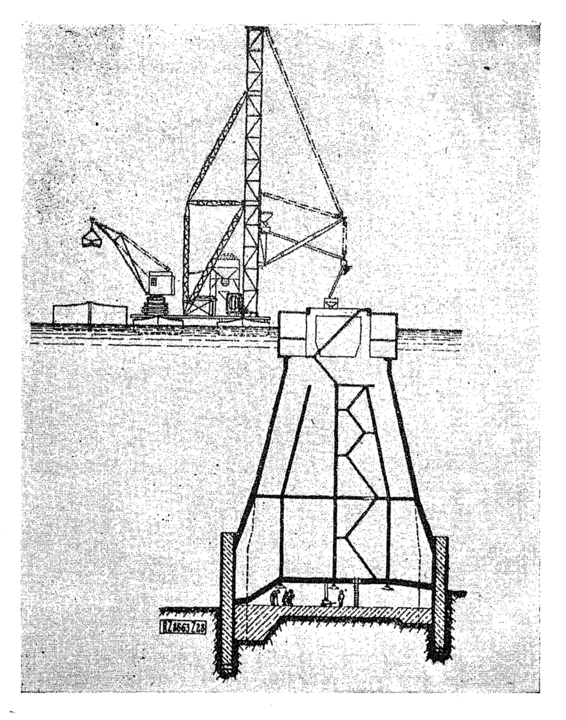


(شكل ١٠)

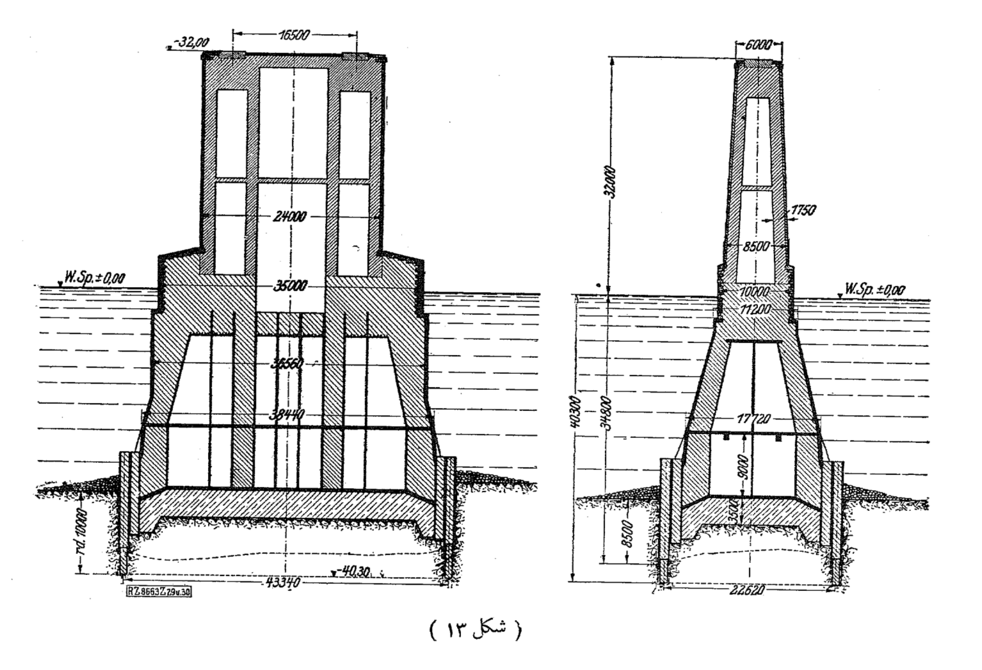

(شکل ۱۱)







(شکل ۱۲)


-32,00
16500
24000
W.Sp.±0,00
35000
36560
38440
rd.10000
-40,30
43340
RZ 8663 Z 29 u.30
6000
32000
1750
8500
W.Sp.±0,00
10000
11200
40300
34800
17720
9000
3500
8500
22620

(شکل ۱۳)

البناء بواسطة أحد الأوناش الكبيرة وكانوا قد أعدوا له كابولياً فى مبانى البغلة لتركيبة ، وقداستعمل هذا الونش أيضاً فى بدء تركيب الجزء العلوى من الكوبرى كما سنبين ذلك فى حينه (شكل ١٤) .

صار تنفيذ البغال الأخرى بنفس الطريقة هذه ، إلا أن البغلة رقم ٣ أى الثانية من ناحية جوتلاند جاءت مرتكزة على شبه تل مرتفع عن القاع وكانت قد أظهرت التجارب السابقة أن التيار ينحر القاع بقرب البغال الجديدة ، فرؤى من المناسب زيادة عمق أساسات هذه البغلة ولما لم يكن من الممكن زيادة تغويص القاسون بعد ارتكاز سطح غرفة العمل على الأرض فاضطروا إلى تطويل المواسير التى تحيط بالقاسون وتمت هذه العملية بدق مواسير حديدية أصغر قطراً فى داخل المواسير الخرسانية بحيث تنزل شفتها السفلى تحت المنسوب الأصلى لمسافة ثلاثة أو أربعة أمتار ، ثم أجرى الحفر ورمى الخرسانة حتى قاع المواسير الجديدة بالطريقة السابقة . وقد لوحظ أيضاً بعد تغويص هذا القاسون أنه مال قليلا بسبب عدم انتظام طبقات الأرض تحته ولكنهم تمكنوا من إرجاعه إلى وضعه الرأسى بحفر التراب أولا بقرب الجانب العلوى من حائط الغرفة وهى نفس الطريقة المتبعة عادة عند تغويص قواسين الهواء المضغوط .

انتهت بهذا أعمال المبانى ولا يفوتنا أن نذكر أن متوسط وزن البغلة

الواحدة الكاملة ٥٤٠٠ طنا ، ولإمكان تقدير هذا الثقل الهائل نذكر على سبيل المقارنة أن الاساسات والمبانى فى أكتاف وبغال كوبرى الطرق الجارى إنشاؤه بكفر الزيات على النيل وعددها تسع قطع لايزيد وزنها جميعاً عن ٣٥٠٠٠ طنا .

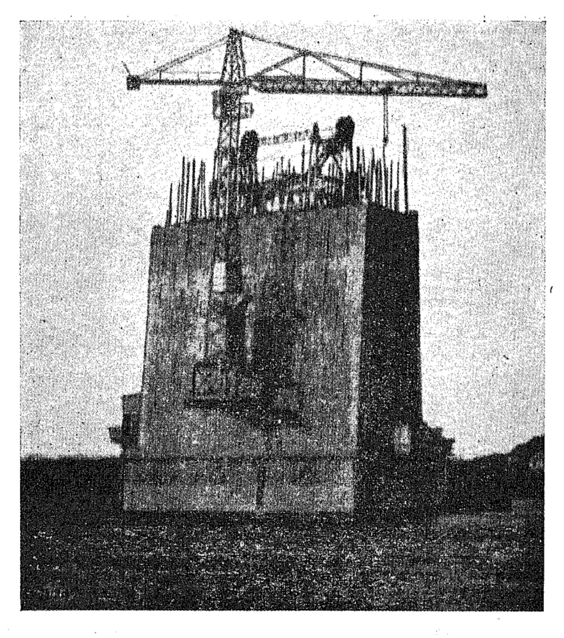
ويبلغ ضغط القاسون على الأرض بعد استنزال رفع المياه (buoyancy) ووزن الطين الذى صار حفره ٢٫٧ كيلوجراما على السنتيمتر المربع . والضغط مع إضافة وزن الجزء العلوى من الكوبرى ٣٫٣ ك على السنتيمتر المربع . وكانت قد دلت التجارب التى عملت على أنه يمكن تحميل الأرض لغاية ٥٫٦ كيلوجراما على السنتيمتر المربع . فالفرق أكبر بكثير من الضغط الذى ينتج من الأحمال المتحركة على الكوبرى .

وقد استغرق بناء البغلة بأكملها ٢٤ شهراً تفصيلها كالآتى :

٥ شهور لبناء القاسون على البر .

٦ » لعمل الجزء الأسفل من البغلة ونقلها إلى المحل النهائى .

٣٫٥ » لتركيب المواسير الحديدية وعمل الطبلية وتركيب الأوناش وجهازت الحفر .



(شكل ١٤)

٢ « للحفر داخل المواسير وملئها بالخرسانة .

١,٥ « لعمل خرسانة الاساسات بعد نزح المياه .

٦ « لتكملة بناء الجزء الأعلى من البغلة .

تحضير الأجزاء المعدنية

أجريت عملية التركيب التجريبية للـكمرات الرئيسية فى الورشة قبل شحنها ثم صار تركيبها على أجزاء لا يزيد وزنها عن ٢٥ طناً إما فى الورشة أيضا وإما فى محل العمل الذى أعد لذلك على شاطىء جزيرة فيونى حيث أرسل الحديد جميعه بطريق البحر . وهناك صار تنظيف الحديد بالرمل المدفوع بالهواء المضغوط ودهنه بطبقتين من البوية . ثم نقلت أجزاء الـكوبرى حسب مقتضيات العمل على صنادل ورفعت بواسطة الأوناش لوضعها فى محلها النهائى .

طريقة التركيب

كان عمق الماء فى موقع الـكوبرى وكذلك ارتفاع الانشاء فوق سطح البحر السبب الذى أدى إلى اختيار طريقة التركيب .

فان تركيب الكوبرى بالطريقة العادية على شدة خشبيه كانت تستلزم عمل سقائل بارتفاع ٧٠ مترا فوق قاع البحر. فاضطروا إلى استعمال طريقة يستغنى بها عن مثل هذه السقائل. فصار تنفيذ العمل بتركيب الأجزاء الواقعة فوق البغال أولا ثم بمتابعة تركيب الكمرات على جانبى كل بغلة بحيث تمتد هذه الكمرات فى الفضاء (cantilevers) إلى أن تلتقى ببعضها فى منتصف الفتحات. وكان قد اقترح مهندسو المصلحة عمل كابوليين فى جانبى كل بغلة لترتكز عليها الكمرات أثناء تركيبها فيمكن توازن جزئيها لكن المقاول فضل عمل كابولى واحد لتسهيل تحديد الجهود فى الكمرات المذكورة لأنها تكون مرتكزة أثناء تركيبها على نقطتين فقط. إحداهما على البغلة الأخرى على الكابولى. إلا أن هذه الطريقة أوجدت فى البغلة جهود انحناء كبيرة. خصوصا عند بدء عملية التركيب وقد أدت إلى وضع تسليح رأسى خاص فى البغلة أثناء بنائها (انظر الشكل ١٤).

ليست طريقة التركيب التى لخصناها بجديدة بل هى بالعكس كثيرة الاستعمال خصوصا فى الكبارى المتحركة أفقيا إلا أن ظروف كوبرى البلت الصغير كارتفاعه الكبير فوق سطح الماء وطول فتحاته ووجود المفصلات فيها جعلت عملية التركيب دقيقة وتطلبت عمل تجهيزات خاصة نشرحها كما يأتى :

وضع المقاول فى داخل كل بغلة أثناء بنائها كمرة شبكية مائلة ليربط بها الحبل الأسفل من الكابولى كما وضع فى أعلى البغلة كمرتين شبكيتين فى الاتجاه الرأسى ليربط بهما الحبل الأعلى وكان أصعب جزء من عملية الانشاء هو تركيب الكابولى الذى يمتد حوالى ٢٥ مترا خارج البغلة وكذلك تركيب الأوناش اللازمة فوقها . ومجرد تعداد العمليات التى أجريت يكفى ليبين ما فى هذا العمل من صعوبة وتعقيد .

قام المقاول بواسطة الونش المرتكز على جانب البغلة بتركيب ونش مساعد على الجانب الآخر منها وكان هذا الونش مرتكزاً أيضا على كابولى خاص ومربوطا بأعلى البغلة . واستعمل الونش المساعد فى تركيب نصف الكابولى ووضع الحبل الأسفل لكمرات الكوبرى فوقه . ثم أزيل هذا الونش وعمل ونش مساعد آخر فوق البغلة استعانوا به على تركيب ونش كبير فوق الجزء الذى كان قد تم فى الكابولى . وقد استخدم هذا الونش الأخير فى تركيب ماتبقى من الكابولى ووضع الحبل الأسفل من الكمرات عليه وكذلك كمرات الطريق بطول ٣٠ مترا تقريبا ثم استخدم فى تركيب ونش كبير متحرك آخر عند نهاية الكابولى . بعد ذلك صار فك الونش الأول وقام الونش الثانى بتركيب الأجزاء العليا من كمرات الكوبرى

فوق البغلة . ثم نقل هذا الونش فوق البغلة وأعيد تركيب الونش الأول فوق الكابولى بشكل ونش متحرك .

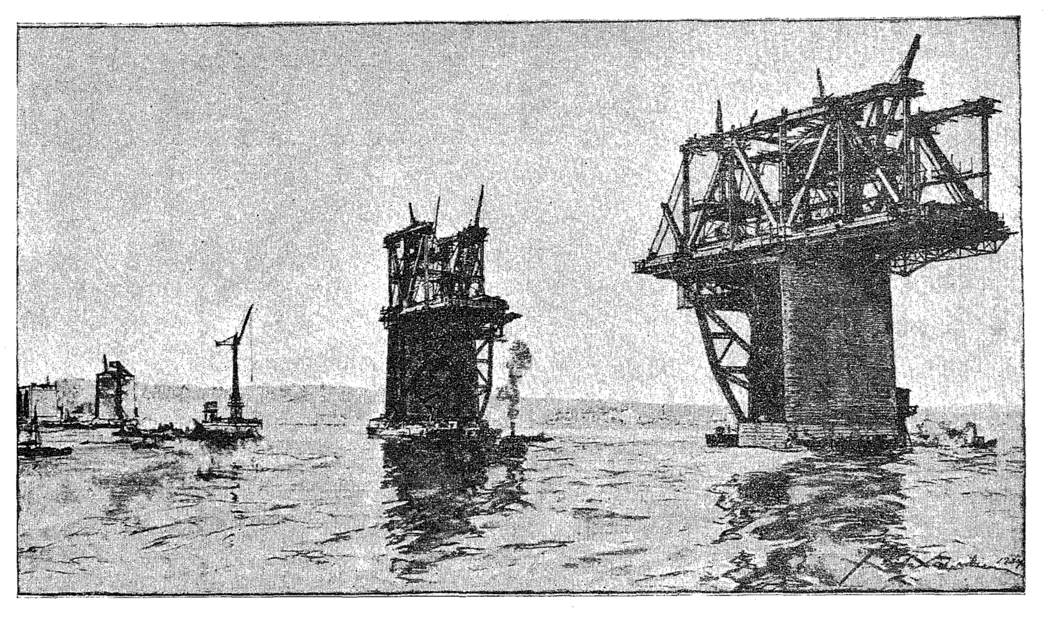
اضطر المقاول إلى هذه التركيبات المختلفة بسبب ضيق المكان .

تركيب الكوبرى فى الفضاء على جانبى البغلة

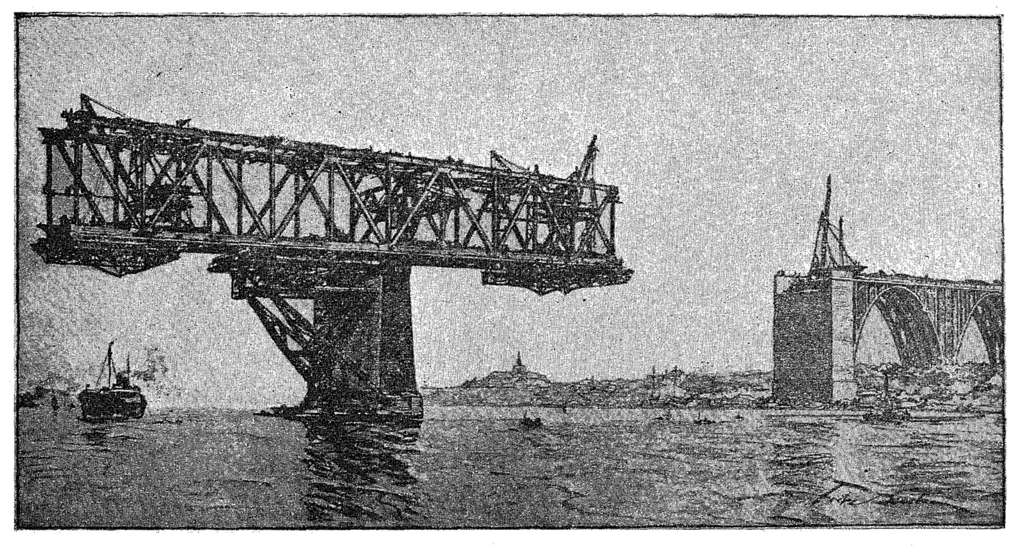
بعد تركيب جزء الكوبرى الكائن فوق البغلة والكابولى (شكل ١٥) استمر تركيب الأجزاء التالية من الناحيتين بحيث يكون ما تم تركيبه متوازناً بقدر الامكان حتى لا تتعدى جهود الانحناء على البغلة المقدار الذى فرض فى حسابها (شكل ١٦) .

ابتدأ العمل فى البغلة رقم ٣ بعد ابتدائه فى البغلة رقم ٤ بقليل واستمر بنفس النظام فكان ونشان يركبان الحديد فى الفتحة التى بين البغلتين فى اتجاهين متقابلين وكان الونشان الآخران يركبان الحديد فى الفتحات المجاورة وكان المقاول كلما أتم جزءاً فى الكوبرى يقيس الترخيم الناتج من الحساب النظرى ليطمئن إلى سير العمل بالنظام الموضوع له .

لامكان ضبط منسوب أطراف الكوبرى وضعت عفاريت مائية فوق نهايات الكوابيل المثبتة على البغال .. كما ربطت بالكوابيل أيضا



(شكل ١٥)



(شكل ١٦)

كمرات الكوبرى خوفا من انقلابها فى الفتحات الخالية من الكوابيل . تقع فوق البغلة رقم ٣ كراسى الارتكاز الثابتة . أما فوق البغلة رقم ٤ فكانت الكراسى المتحركة ولكنهم ثبتوها أثناء التركيب بقطع إضافية وضعت لهذا الغرض . ونذكر أخيراً أنه لاتقاء الحوادث ولتسهيل عملية التركيب قدعملت سقائل وطبليات متحركة معلقة تحت كمرات الطريق فى كل من نهايات الكوبرى الجارى بها العمل . وكانت تنقل هذه السقائل كلما أضيف جزء جديد إلى الكوبرى . وهى ظاهرة فى الأشكال ١٥ ، ١٦ ، ١٧ .

بعد عشرة شهور تقريباً من نهو أعمال المبانى فى البغلة رقم ٣ تم تركيب نصفى الكوبرى فى الفتحة الأولى (شكل ١٧) . وبما أن ربط الجزئين ببعضهما لا يمكن إلا بضبط موقعهما منذ البداية بدقة يصعب الوصل إليها فقد صار تقطيع وتثقيب أجزاء الباكية الأخيرة من الكمرات حسب المقاس الذى أجرى بدقة فى الطبيعة .

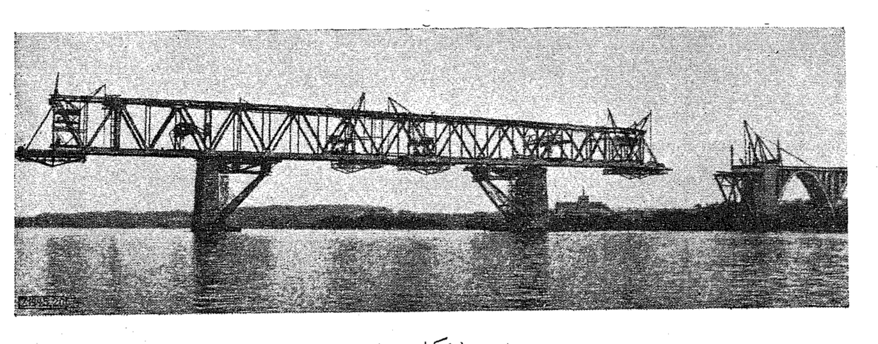
وقد أجرى التركيب فى الفتحة الكائنة بين البغلة رقم ٤ والكتف بالطريقة المذكورة أيضاً بعد عمل كابولى مثبت على الكتف وتركيب باكيتين من الكمرات عليه . ولكن طريقة التركيب على الفاضى قد اضطرت المقاول إلى وصل الجزء المعلق من الكوبرى بالجزء المرتكز على

البغلة لأن وجود المفصلة التى أشرنا إليها فى وصف الكوبرى لا يسمح باستمرار التركيب بطريقة الكابولى . فقد صار وصل الحبل الأعلى من الكمرات الرئيسية بقطع من الصاج لمقاومة جهود الشد ووضعت بين جزئى الحبل الأسفل مخدات من الصلب المصبوب بينها خوابير من الصلب أيضاً لمقاومة جهود الضغط .

وبعد انتهاء التركيب ورفع أطراف الكوبرى على الأكتاف صار فك المخدات الموضوعة فى الحبل الأسفل وقطعت الخوص المبرشمة فى الحبل الأعلى بالأكسيجين .

وقد صار تركيب الكوبرى بين البغلتين رقم ٢،١ وبين البغلة رقم ١ والكتف الواقع على جزيرة فيونى بنفس الطريقة التى وصفناها وأجرى أخيراً تركيب الفتحة الوسطى وهى أطول من الفتحتين الجانبيتين ولذلك لم يكن تركيب الحديد قد وصل فيها إلى النصف عند تكملة الفتحتين المذكورتين لامكان حفظ التوازن المطلوب . فبعد قفل هاتين الفتحتين استؤنف التركيب فى الفتحة الوسطى .

وفى هذه الفتحة أيضا جزء معلق من طرفيه بمفصلات صار تثبيتها بنفس الطريقة المذكورة آنفاً . إلا أنهم أضافوا على المخدات والخوابير التى وضعت بين جزئى الحبل الأسفل عند كل مفصلة عفريتين مائيتين



(شكل ١٧)

أمكن بتحريكهما ضبط ارتفاع الجزئين المعلقين فى الهواء وقت تقابلهما .

وقد تم قفل الباكيه الأخيرة كما فى الفتحات الأخرى بعد ضبط الجزئين على بعضهما . فتم ضبطهما فى الاتجاه الرأسى بواسطة العفاريت المائيه كما ذكرنا . أما ضبطهما فى الاتجاه العرضى والاتجـاه الطولى فتم بتحريك الكوبرى على الكراسى الموضوعة فوق البغال . فقد عمل الجزء الأسفل من كل كرسى من لوحين من الصلب يفصلهما لوح من النحاس الأصفر لتسهيل الانزلاق . وبذلك أمكن تحريك الكوبرى عرضياً وطولياً لضبط الوصلة النهائية .

وبهذا انتهى تركيب الجزء المعدنى الملوى من الكوبرى .

كان النجاح الكبير فى تنفيذ هذا العمل الهام والسرعة النسـبية التى تم بها بفضل وضع برنامج شامل لكل أطوار التنفيذ بعد درس كل كبيرة وصغيرة فيه درساً دقيقاً مفصلا .

وقد استنفذ إنشاء الكوبرى نحو ٠٠٠ ١٠٠ متراً مكعبا من الخرسانه فى البغال الأربعة كلفت حوالى ٠٠٠ ٤٢٠ جنيه و ١٣٥٠٠ طنا من الصلب كلفت ٠٠٠ ٥١٠ جنيه وبلغت تكاليف الأكتاف وفتحات التوصيل الخرسانية حوالى ١٣٠٠٠٠ جنيه فيكون مجموع تكاليف الأعمال المذكورة

حوالى ١٠٦٠٠٠٠ جنيه تصل إلى ١٨٠٠٠٠٠ تقريباً باضافة الأعمال التكميلية الأخرى وكذلك التعديلات التى استلزمها إنشاء الكوبرى فى الطرق والخطوط الحديدية .

